مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، سال بیستم،
شماره۱، صفحه ۸۶-۷۹، ۱۳۸۶
ISSN: 1016-3255

ساخت میلگردهای کامپوزیتی و بررسی اتصال آنها به بتن

Construction of Composite Rebars and Investigation of their Bonding to Concrete

امیر مسعود رضادوست*، مسعود اسفنده، سید علیرضا ثابت، سید محمد باقر علوی
تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه کامپوزیت و چسب، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۵/۴/۲۸، پذیرش: ۸۵/۷/۱۱

چکیده

یکی از راههای مقابله با مشکل خوردگی در بتن تقویت شده با فولاد، استفاده از میلگردهای کامپوزیتی است. در این پژوهش، میلگردهای کامپوزیتی با سه هندسه سطح متفاوت تهیه و بررسی شدند. این اشکال شامل ایجاد آج روی میله پولترود شده با استفاده از دورپیچ الیاف پیوسته آغشته به رزین، پاشش شن روی سطح میله با استفاده از اتصال دهنده رزینی و تلفیق این دو روش است. به منظور مقایسه، از میله با سطح صاف نیز در آزمایشها استفاده شد. برای ارزیابی چسبندگی میلگرد به بتن، میلگردها با طولهای جاگذاری۱۰ (۱۲ cm) و ۱۵ برابر قطر ریشه میلگرد (۱۸ cm) در پایه‌های بتنی استوانه‌ای قرار داده شد و نیروی لازم برای بیرون کشیدن آنها و رفتار نیرو ـ جا به‌جایی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش زبری به هر روش، در افزایش مقدار چسبندگی میلگرد به بتن اثر مثبت دارد. میلگردها با سطوح صاف و بدون آج کمترین استحکام چسبندگی را دارند، پس از آن به ترتیب میلگرد با آج دور پیچ و میلگرد با آج دورپیچ و شن‌پاشی شده (آج دوگانه) در مراتب بعدی قرار می‌گیرند. مقدار استحکام چسبندگی میلگردهای آجدار تابع مقدار چسبندگی آج به مغزی میلگرد پولترود شده است. همچنین، در طول جاگذاری ۱۲ cm میلگردها با آج دوگانه چسبندگی بهتری به بتن دارند. اما، در طول جاگذاری ۱۸ cm کارایی میلگرد با آج دوگانه و میلگرد با آج دورپیچ ساده به هم نزدیک بوده، نیروی چسبندگی میلگرد با آج دورپیچ اندکی بیشتر از میلگرد با آج دوگانه است. در تمام موارد، سطوح شن پاشی ساده و دورپیچ ساده به هنگام آزمون بیرون کشی، از مغزی میلگرد جدا می‌شوند. در مجموع کارایی میلگردها با آج دوگانه در چسبندگی به بتن بهتر از سایر میلگردها ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی

میلگرد کامپوزیتی، استحکام چسبندگی، پولتروژن، اتصال به بتن، آزمون بیرون‌کشی

Key Words

composite rebar, bonding strength, pultrusion, bonding to concrete, pull-out test

مقدمه

مزیت اصلی بتن استحکام فشاری زیاد و عیب عمده آن کم‌بودن استحکام کششی است. در طراحی سازه‌های بتنی، برای غلبه بر این مشکل قسمتی از بتن را که در تنش کششی قرار می‌گیرد، به وسیله میله‌هایی با خواص کششی مطلوب تقویت می‌کنند. در این زمینه میلگردهایی با سطوح آجدار به دلیل ایجاد درگیری مکانیکی با بتن و بنابراین چسبندگی بهتر، کارایی بیشتری دارند. میلگردهای آجدار متداول از جنس فولاد هستند که مستعد خوردگی در محیطهای خورنده‌اند.

بتن معمولاً در محدوده pH قلیایی ۱۴-۱۲

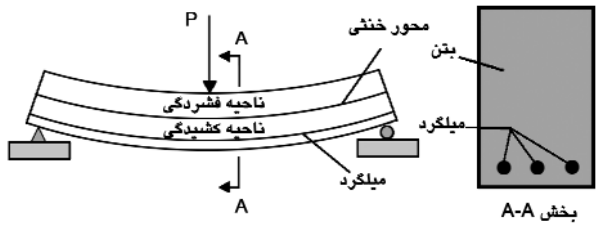
*مؤلف مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: a.rezadoust@ippi.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

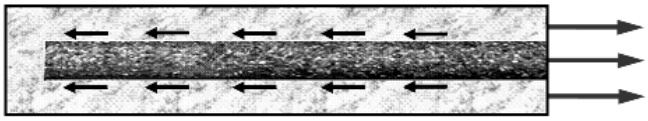
بکار می‌رود و علت خاصیت قلیایی زیاد آن تشکیل ترکیبات سدیم، پتاسیم و کلسیم هیدروکسید بر اثر واکنش آبدار شدن است. تا زمانی که بتن قلیایی باقی بماند، میلگرد فولادی در مقابل خوردگی پایدار است. اما با کاهش pH، خوردگی میلگرد آغاز می‌شود. از جمله عواملی که باعث کاهش pH قلیایی می‌شود، یونهای کلر موجود در نمک ضد یخ خیابان، نمک موجود در هوای دریا و ناخالصیهای نمکی موجود در اجزای بتن نظیر شن است. خوردگی باعث انبساط میلگرد شده، درون بتن تنش ایجاد کرده و باعث بوجود آمدن ترک می‌شود. این امر منجر به جدایی اجزای بتن ازیکدیگر و در نتیجه نفوذ آب و اکسیژن هوا و نیز یون کلر به داخل بتن و سطح میلگرد شده، خوردگی را تشدید می‌کند. این روند در نهایت تا تخریب کامل سازه ادامه می‌یابد.

راه‌حلهای متعددی برای رفع مشکل خوردگی میلگرد بکار گرفته شده است. از جمله این موارد می‌توان به استفاده از پوششهای گالوانی، پوششهای پودری و پوششهای اپوکسی روی میلگردهای فلزی و همچنین استفاده از بتنهای پلیمری اشاره کرد. استفاده از میلگردهای کامپوزیتی به عنوان راهکاری برای رفع این مشکل در سالهای اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. هر یک از این راه‌حلها مزایا و معایب خاصی دارند. از مزایای میلگردهای پلیمری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۴-۱]: مقدار زیاد استحکام ویژه (نسبت استحکام به وزن)، مقاومت در برابر خوردگی، خواص عایقی خوب، مقاومت خستگی عالی، مقاومت ضربه زیاد، قابلیت گذردهی امواج مغناطیسی، پایداری ابعادی حین گرمادهی و همچنین چگالی کم.

بتن تقویت شده با کامپوزیت را می‌توان در ساخت پارکینگ، کف، دیواره و نرده‌های پل، جدول خیابان، دیواره‌های کنار جریان آب و زیرسازی فضاهای آبی بکار برد. همچنین، مواردی نظیر سازه‌های دریایی و مجاور دریا، سازه‌های در معرض مواد خورنده به ویژه در صنایع شیمیایی و هسته‌ای، کاربردهای نیازمند به رسانندگی الکتریکی کم و قابلیت گذردهی امواج مغناطیسی، تونلها و سدهای نگه دارنده موقت مانند دیواره‌های معادن و زیرگذرهای عبوری و سازه‌های سبک از دیگر



شکل ۱ کارایی میلگرد برای تقویت بتن در حالت کشش.



شکل ۲ انتقال نیرو از بتن به میلگرد به کمک سطح درگیر.

زمینه‌های کاربرد این مواد هستند [۴-۱].

به طور کلی استفاده از میلگرد در بتن به منظور جبران ضعف بتن در برابر بارهای کششی است. نیروی وارده به سازه بتنی تقویت شده، به وسیله میلگرد تحمل می‌شود (شکلهای ۱ و ۲).

هندسه سطح یا به عبارتی شکل آج روی میلگرد، اثر بسیار مهمی در ماهیت تقویت کنندگی آن دارد. آج یا هر ناصافی دیگر سطح، موجب اتصال مکانیکی بین بتن و میلگرد می‌شود. بنابراین، نوع آج (و نیز طول جاگذاری در بتن) در تقویت کنندگی مؤثر است [۵].

با استفاده از نوعی میلگرد کامپوزیتی با دو طول جاگذاری در استوانه بتنی (تقویت نشده) مشاهده شد که با افزایش طول، استحکام اتصال کاهش می‌یابد. کاهش استحکام اتصال با افزایش طول جاگذاری به توزیع غیرخطی تنش اتصال نسبت داده شد [۶].

با جاگذاری ۵ نوع مختلف از میله‌های کامپوزیتی با طول ۶۰ mm در بلوک سیمانی با ابعاد ۱۲۰×۱۵۰×۱۵۰ mm مشخص شد، که میلگردهای با آج قالبگیری شده بهترین کارایی را دارند [۷]. کارایی مطلوب بعدی، مربوط به میلگردها با آج دورپیچ و شن‌پاشی با ذرات کوچک است، میله‌های با آج دورپیچ ساده و میله‌های با آج دورپیچ و شن‌پاشی شده با ذرات بزرگ به ترتیب در مراتب بعدی قرار دارند. میله‌های صاف، ضعیف‌ترین کارایی را نشان دادند. رفتار میلگردهای کامپوزیتی در طولهای جاگذاری مختلف به کمک آزمون بیرون کشی ارزیابی شد[۸]. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد، طول گیرش (حداقل طول لازم برای تقویت بتن) بدست آمده از آزمون بیرون کشی مستقیم، به طور متوسط ۱۳ درصد از سایر روشهای ارزیابی مثل آزمون تیرک بیشتر است.

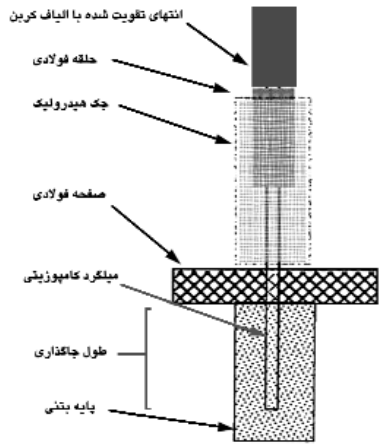
در پژوهش حاضر، سه نوع میلگرد کامپوزیتی پلیمری با هندسه سطح متفاوت تهیه شده و اتصال آنها به بتن به کمک آزمون بیرون کشی میلگرد بررسی شده است.

تجربی

مواد

رزین پلی‌استر سیر نشده از نوع ایزوفتالیک ۷۵۱۱۲۹ از شرکت صنایع

Archive of SID
www.SID.ir

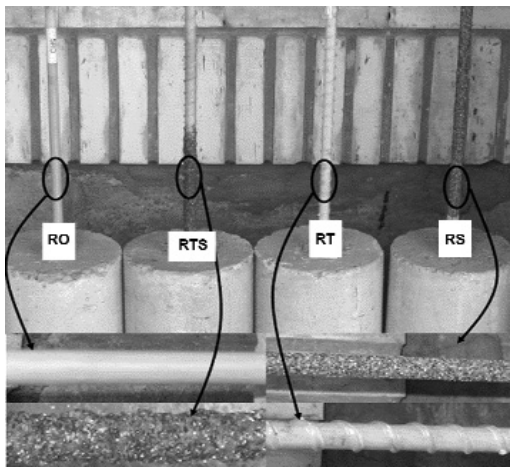


شکل ۳ نمایی از روش بکار گرفته شده برای ارزیابی چسبندگی میلگرد به بتن.

شیمیایی بوشهر، رزین اپوکسی باکد ML-۵۰۱ و عامل پخت آمینی باکد HA-۱۲ محصول شرکت مواد مهندسی مکرر، بنزوئیل پروکسید (BPO) از شرکت پاموکاله، الیاف شیشه رشته‌ای (Roving) از نوع E با چگالی خطی(tex)g/km ۲۴۰۰ از شرکت CamElyaf ترکیه، همچنین مخلوط آمینهای چرب و استر فسفاتهای آلی با نام تجاری MoldWiz از شرکت AxelPlast به عنوان رهاساز داخلی قالب و ماسه با مش بین ۱۶ تا ۴۰ برای ساخت نمونه‌ها استفاده شد.

دستگاهها

برای بررسی شرایط پخت رزین، دستگاه DSC ساخت Polymer Laboratory مدل ۶۲۵ STA و برای ساخت نمونه‌های



شکل ۴ چهار نوع نمونه آماده شده برای ارزیابی اتصال میلگرد به بتن.

میلگرد کامپوزیتی دستگاه پولتروژن ساخته شده در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران بکار گرفته شد. آزمونهای اندازه‌گیری اتصال میلگرد به بتن در مرکز تحقیقات ساختمان و با استفاده از جک هیدرولیک مجهز به نیروسنج انجام شد.

روشها

ساخت مغزی

برای ساخت مغزی (RO) میلگردها از فرایند پولتروژن استفاده شد. در این فرایند امکان جهت‌گیری الیاف در جهت طول میلگرد وجود دارد، همچنین در مقایسه با سایر فرایندهای شکل‌دهی کامپوزیتها، حجم بیشتری از الیاف را می‌توان در آن بکارگرفت.

آجدار کردن سطح

سه الگوی سطح زیر برای ساخت میلگردها در نظر گرفته شد:

- آج پیچیده شده (RT)،
- شن پاشی شده (RS)و
- تلفیق دو روش (RTS).

به دلیل چسبندگی ضعیف آج و جدایی آن پس از پخت به هنگام استفاده از رزین پلی‌استر در میلگرد با آج پیچیده، برای ایجاد آج در این نوع میلگردها از رزین اپوکسی استفاده شد. همچنین، برای ممانعت از ایجاد ارتفاع ناهمگن آج و گام پیچ نامساوی، پیچش آج به کمک ماشین تراش و به شیوه رشته‌پیچی انجام شد. به این منظور دو رشته الیاف شیشه به هم تابیده (با تاب مشخص) به عنوان آج روی مغزی پیچیده شد. ارتفاع آج ایجاد شده ۳ mm و گام آن ۱۷ mm بود.

برای ساخت نمونه‌ها با سطح شن پاشی شده، از ماسه معمولی با دانه‌بندی در محدوده مش ۴۰-۱۶ استفاده شد. بدین منظور ابتدا سطح مغزی با لایه‌ای نازک از مخلوط رزین پلی‌استر سیرنشده و کاتالیزور بنزوئیل پروکسید آغشته شد، سپس لایه‌ای از ماسه به آن پاشیده شد. پس از خشک شدن، با استفاده از مه پاش محلول ۳۰ درصد پلی‌استر ـ استون روی آن افشانده شد. نمونه حاصل به مدت ۱ h در دمای ۸۰°C و ۱ h در ۱۵۰°C پخت کامل شد.

آزمون چسبندگی

نمایی از روش بکار گرفته شده برای ارزیابی چسبندگی میلگرد به بتن در شکل ۳ نشان داده شده است. بدین منظور ابتدا پایه‌های بتنی استوانه‌ای شکل به قطر ۱۵ cm و ارتفاع ۳۰ cm ساخته شد و میلگردهای کامپوزیتی

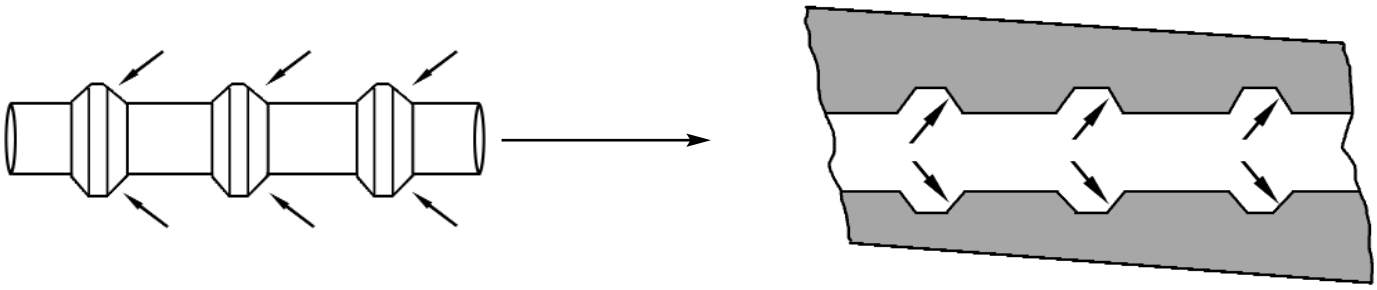
Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱ نتایج آزمون اتصال میلگرد به بتن.

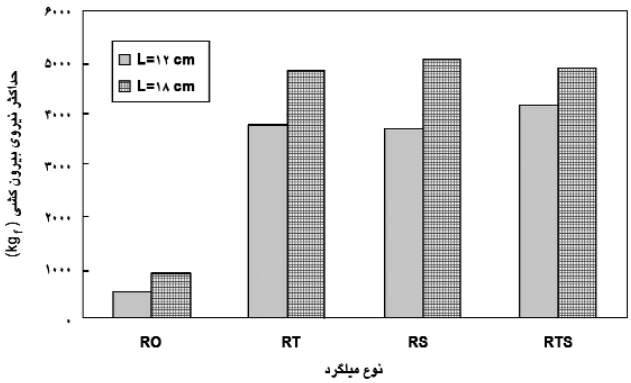
ردیف	کد نمونه	نوع آج	طول جاگذاری در بتن (cm)	حداکثر نیروی بیرون کشی (kg_f)
۱	RO۱۲	بدون آج	۱۲	۵۳۳
۲	RO۱۸	بدون آج	۱۸	۹۱۲
۳	RT۱۲	دورپیچ	۱۲	۳۸۰۷
۴	RT۱۸	دورپیچ	۱۸	۴۸۵۲
۵	RS۱۲	شن‌پاشی	۱۲	۳۷۱۸
۶	RS۱۸	شن‌پاشی	۱۸	۵۰۸۵
۷	RTS۱۲	دورپیچ و شن‌پاشی	۱۲	۴۱۷۶
۸	RTS۱۸	دورپیچ و شن‌پاشی	۱۸	۴۹۴۲

در مرکز آن با طولهای جاگذاری ۱۰ (۱۲ cm) و ۱۵ برابر قطر میلگرد (۱۸ cm) قرار داده شد. پس از عمل‌آوری کامل، بتن به مدت ۲۸ روز در حوضچهٔ آب، به وسیله جک هیدرولیک مطابق شکل ۳ با آزمون بیرون‌کشی بررسی شد. مقدار نیروی اعمالی برای کشش میلگرد و مقدار حرکت میلگرد در انتهای آزاد به وسیله مبدل تفاضلی متغیر خطی (linear variable differential transformer, LVDT) اندازه‌گیری شد.

از هر میلگرد سه نمونه تهیه و میلگرد صاف (مغزی ساده) نیز به عنوان نمونه شاهد برای مقایسه کارایی آجها بکار گرفته شد. تعدادی از نمونه‌های آماده شده برای انجام آزمون اتصال در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۶ ساز و کار انتقال نیرو به هنگام بیرون کشیدن میلگرد از بتن [۸].



شکل ۵ افزایش چسبندگی میلگرد به بتن با افزایش طول جاگذاری.

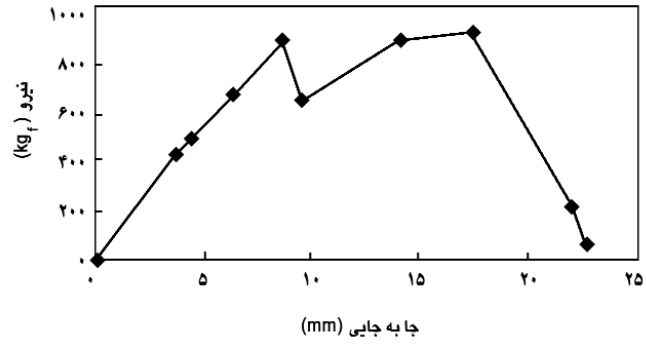
نتایج و بحث

نتایج آزمون بیرون کشی میلگردها از بتن در جدول ۱ آورده شده است. باید توجه داشت که در تحلیل رفتار چسبندگی میلگرد به بتن، حداکثر نیروی چسبندگی تنها عامل مهم نیست و باید رفتار نیرو ـ جابه‌جایی نیز بررسی شود. با توجه به داده‌های جدول ۱ در تمام نمونه‌های مورد آزمون با افزایش طول جاگذاری، مقدار چسبندگی میلگرد به بتن افزایش می‌یابد (شکل ۵).

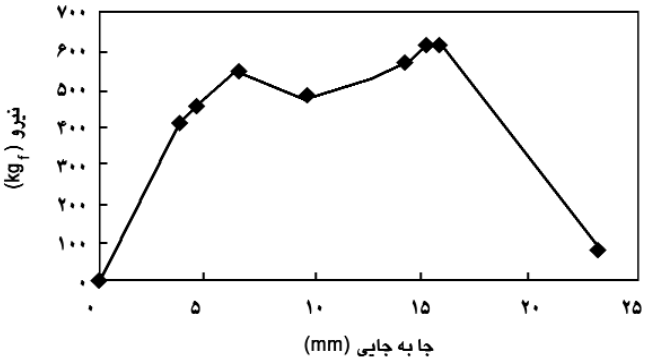
در طول جاگذاری ۱۰ برابر قطر میلگرد، حداکثر نیروی لازم برای بیرون کشیدن میلگرد با آج دورپیچ بیشتر از سایر میلگردهاست. در طول جاگذاری ۱۵ برابر قطر میلگرد، حداکثر نیروی لازم برای بیرون کشیدن میلگردهای با هندسه سطح مختلف، به هم نزدیک می‌شود با این وجود چسبندگی نمونه با سطح شن پاشی اندکی بیشتر از سایر میلگردهاست. نکته حائز اهمیت، رفتار این میلگردها در آزمون چسبندگی است. وقتی میلگرد از بتن بیرون کشیده می‌شود، جداره بتن در جهت مخالف در نقاط تماس به

Archive of SID

www.SID.ir



(الف)



(ب)

شکل ۷ نمودار نیرو ـ جابه‌جایی آزمون چسبندگی میلگرد صاف (RO) با طولهای جاگذاری مختلف: (الف) cm ۱۸ و (ب) cm ۱۲.

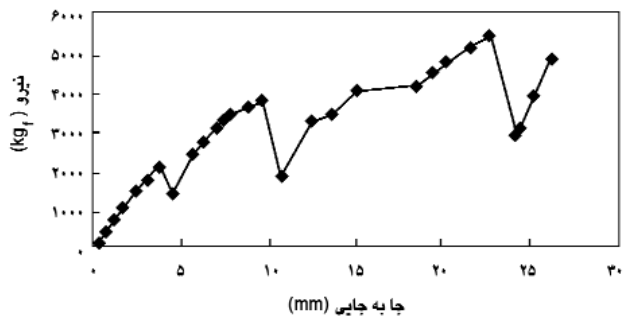
میلگرد نیرو اعمال می‌کند. این نیرو موجب جدایش آج روی میلگرد می‌شود. از طرف دیگر، عکس‌العمل همین نیرو به بتن وارد می‌شود (شکل ۶).

این نیروها از یک سو باعث وارد شدن نیروی گسیختگی به بتن می‌شوند، از سوی دیگر موجب اعمال نیرو در جهت جداسازی آجها می‌شوند[۹،۱۰]. در واقع می‌توان نیروی لازم برای بیرون‌کشیدن میلگرد را متشکل از برایند نیروهای اصطکاکی و ایستایی ناشی از وجود آج دانست.

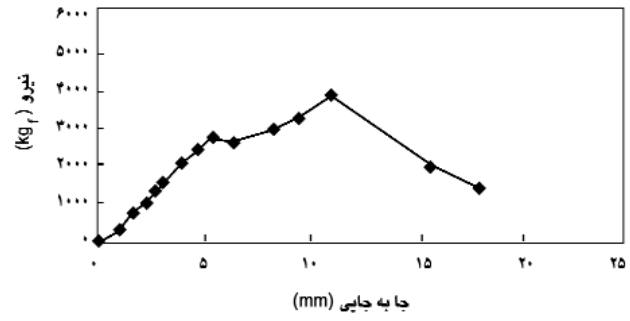
رفتار نیرو ـ جابه‌جایی میلگردهای بدون آج (RO)

در نمونه میلگرد بدون آج انتظار می‌رود، رفتار نمودار نیرو ـ جابه‌جایی هنگام آزمون کشش، نسبتاً خطی باشد و این روند درنمونه‌های RO نیز مشاهده می‌شود (شکل ۷).

همان‌طورکه درشکل ۷ نشان داده شده است، با شروع اعمال نیرو، مقدار آن تا رسیدن به آستانه لغزش میلگرد افزایش یافته پس از آن، میلگرد شروع به لغزش کرده و نیروی اصطکاک لغزشی باعث افزایش نیرو می‌شود. خراشهای مشاهده شده روی میلگرد و نیز پایه بتنی، شاهدی بر



(الف)



(ب)

شکل ۸ نمودار نیرو ـ جابه‌جایی آزمون چسبندگی میلگرد با آج دورپیچ (RT) و طولهای جاگذاری مختلف: (الف) cm ۱۸ و (ب) cm ۱۲.

رخداد این پدیده است. در این نمونه‌ها به دلیل عدم وجود هندسه سطح که بتواند درگیری مکانیکی با بتن ایجاد کند، مقاومت ایستایی وجود ندارد. همچنین، انتظار می‌رود که مقاومت اصطکاکی کمینه باشد چرا که دامنه زبری بسیار کوچک است. البته در حالت ایده‌ال، مقاومت اصطکاکی برای میله صاف باید به صفر نزدیک باشد. با افزایش طول جاگذاری، مقادیر نیروها افزایش یافته ولی نوع نمودار و ساز و کار انتقال نیرو تغییر نمی‌کند (شکل ۷).

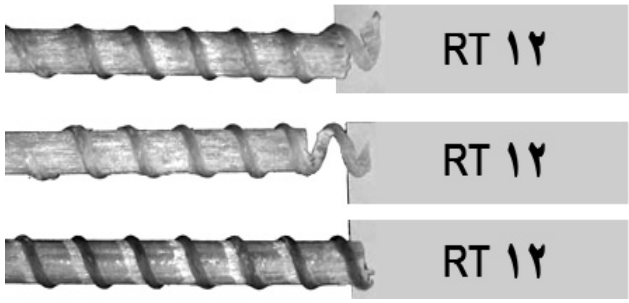
رفتار نیرو ـ جابه‌جایی میلگردها با آج دورپیچ (RT)

در میلگردهای با آج دورپیچ (RT) موضوع متفاوت است. این نمونه‌ها به دلیل وجود برجستگی (آج) روی سطح، نسبت به نمونه‌های بدون آج چسبندگی بهتری به بتن نشان می‌دهد. همچنین، در نمودار نیرو ـ جابه‌جایی این نمونه‌ها مشاهده می‌شود که پس از کاهش اولیه، مجدداً نیرو افزایش می‌یابد (شکل ۸).

بررسی نمونه میلگرد پس از آزمون نشان می‌دهد که آج دورپیچ از سطح

Archive of

www.SID.ir



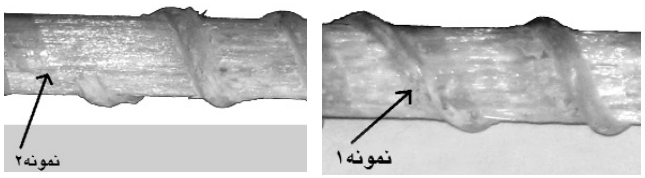
شکل ۹ نحوه جدایی آج و لغزش مغزی در سه نمونه مختلف از میلگرد با آج دورپیچ(RT) و طول جاگذاری ۱۲ cm.

میلگرد جدا شده و پس از مقداری لغزش دچار شکست می‌شود (شکل ۹). کاهش اولیه نیرو به دلیل جدایی آج و آغاز لغزش از سطح مغزی بوده و افزایش بعدی آن مربوط به شکست آج است (شکل ۱۰).

مقاومت اصطکاکی بیشتر نمونه‌های با آج دورپیچ (پس از کاهش نیرو در منحنی)، در مقایسه با نمونه‌های بدون آج (RO) به دلیل مقاومت اصطکاکی اضافی ایجاد شده، به واسطه کنده شدن آجهایی است که بین بتن و میلگرد گیر افتاده‌اند. در این میلگردها، آج ایجاد شده امکان اعمال نیرو و شکست بتن را نداشته، با نیروی اعمالی از طرف بتن، از سطح مغزی جدا می‌شوند.

بدیهی است در این نمونه‌ها نیز افزایش طول جاگذاری موجب افزایش نیروی چسبندگی به بتن می‌شود. نکته قابل توجهی که در نمودار نیرو ـ جابه‌جایی نمونه‌های RT با طول جاگذاری ۱۸ cm مشاهده شد، افت و خیز مکرر نیروست که می‌تواند مربوط به جدایش چند مرحله‌ای آجها از سطح مغزی باشد (شکلهای ۸ و ۱۱).

در این نمونه‌ها با آغاز کنده شدن آج از مغزی و کاهش نیرو، دیگر نمی‌توان از میلگرد انتظار خواص مناسب داشت. بنابراین، تنها بیشتر بودن حداکثر نیروی بیرون‌کشی در این نمونه‌ها، کافی نیست و همان طور



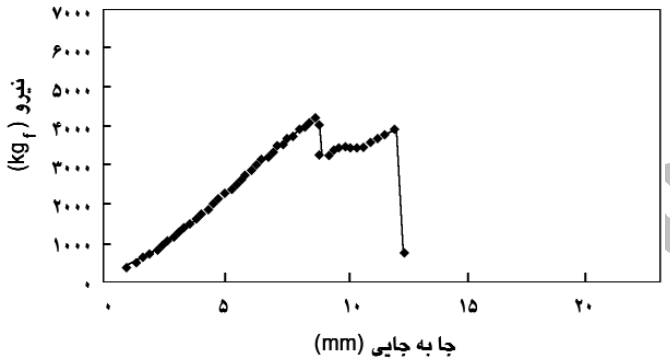
شکل ۱۰ چگونگی پارگی آج در دو نمونه میلگرد با آج دورپیچ (RT) و طول جاگذاری ۱۲ cm (افزایش مجدد نیرو پس از کاهش اولیه).

شکل ۱۱ جدایش چندمرحله‌ای آجها از سطح میلگرد با آج دورپیچ (RT) و طول جاگذاری ۱۸ cm.

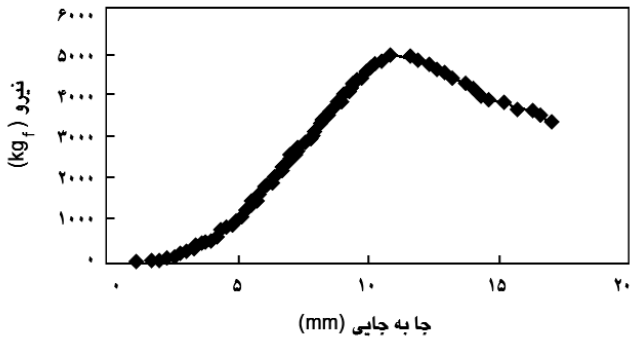
که بررسیها پس از آزمون نشان می‌دهد، کارایی آج در این نمونه‌ها مناسب نبوده و آج داخل پایه ثابت مانده است و مغزی میلگرد از آن بیرون کشیده می‌شود. در واقع می‌توان گفت نیروی بیرون کشی میلگرد در این نمونه‌ها، همان نیروی چسبندگی آج به میلگرد است.

رفتار میلگردها با آج شن‌پاشی (RS)

در میلگردهای با آج شن‌پاشی(RS)، کاهش نیرو مشابه نمونه‌های RT نیست، بلکه پس از رسیدن نیرو به حدی معین، کاهش آن آغاز می‌شود.



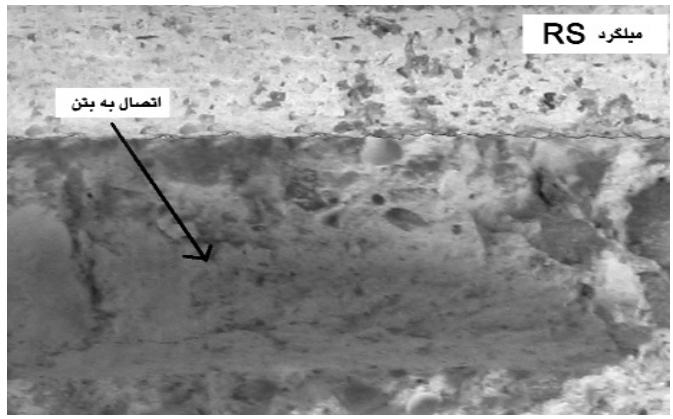
(الف)



(ب)

شکل ۱۲ نمودار نیرو ـ جابه‌جایی آزمون چسبندگی میلگرد با آج دورپیچ (RS) و طولهای جاگذاری مختلف: (الف) ۱۲ cm و (ب) ۱۸ cm.

www.SID.ir

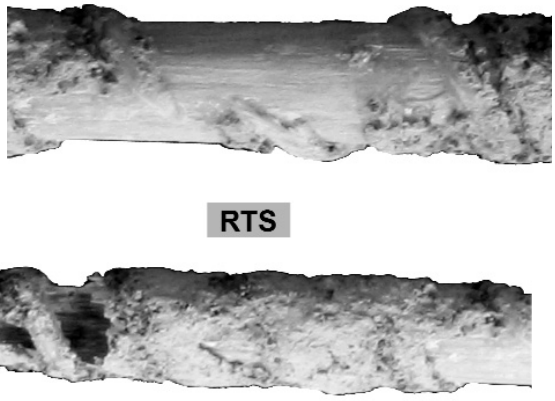


شکل ۱۳ تصویری از اتصال خوب میلگرد RS به بتن.

در این نمونه‌ها به دلیل اینکه آج شن پاشی شده در تمام سطح مغزی وجود دارد، افت و خیزی مشاهده نمی‌شود و تغییرات نیرو نسبتاً یکنواخت است (شکل ۱۲). مقاومت اصطکاکی به وسیله ذرات ماسه که به سطح میلگرد اتصال یافته‌اند، بیشتر افزایش می‌یابد. بنابراین، بزرگی تنش اصطکاکی بیشتر از نمونه‌های RO است.

بازبینی میلگردها پس از انجام آزمون، نشان می‌دهد میلگرد RS چسبندگی خوبی به بتن داشته است (شکل ۱۳) و به هنگام آزمون به شکل شیاری خراشیده شده از مغزی جدا می‌شود. در واقع نیروی چسبندگی این نمونه‌ها، متشکل از نیروهای مربوط به شکست بتن و نیز مقاومت آج در برابر کنده شدن است.

در این حالت با افزایش طول جاگذاری، به دلیل افزایش نقاط اتصال میلگرد و بتن و مقاومت بیشتر، مقدار نیرو افزایش می‌یابد که نتایج آزمونها این امر را تأیید کرده است (شکل ۱۲). بررسیهای پس از آزمون نیز نشان



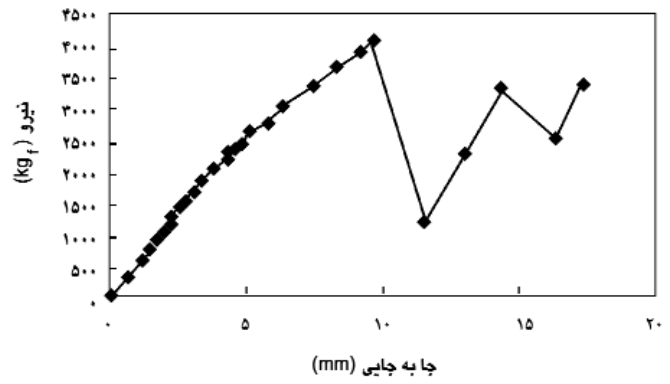
شکل ۱۵ جدایی توام آج دورپیچ و شن‌پاشی در دو نمونه RTS با طول جاگذاری ۱۲ cm.

می‌دهد که مقدار جدا شدگی آج در نمونه‌های با طول جاگذاری ۱۸ cm بیشتر از نمونه‌های با طول جاگذاری ۱۲ cm بوده است.

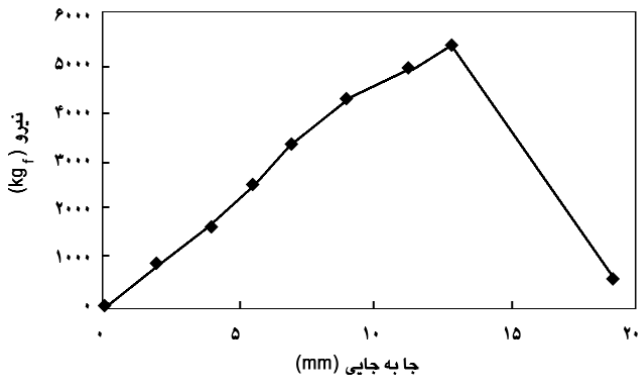
رفتار میلگردهای با آج دوگانه دورپیچ و شن‌پاشی (RTS)

رفتار نمونه‌های RTS کمی متفاوت‌تر از سایر میلگردهاست. این نوع میلگردها، در دو طول جاگذاری مختلف، ساز و کار جدایش متفاوتی نشان می‌دهند. در طول جاگذاری ۱۲ cm، رفتار نمودار نیرو ـ جابه‌جایی تا حدی شبیه نمونه‌های RT است. در این نمونه‌ها، پس از کاهش نیروی اولیه، مجدداً نیرو افزایش می‌یابد (شکل ۱۴) که این امر به دلیل وقوع ساز و کار مشابه جدایی آج است.

بررسیهای پس از آزمون نیز این امر را تأیید می‌کند. در این نمونه‌ها، آج



(الف)



(ب)

شکل ۱۴ نمودار نیرو ـ جابه‌جایی آزمون چسبندگی میلگرد با آج دوگانه (RTS) و طولهای جاگذاری مختلف: (الف) ۱۲ cm و (ب) ۱۸ cm.

Archive of SID
www.SID.ir

دورپیچ و شن‌پاشی، توام جدا شدند (شکل ۱۵). پارگی آج دورپیچ، که باعث کاهش نیرو در نمودار شده، نیز در شکل مشخص است.

در نمونه‌های با طول جاگذاری cm ۱۸ رفتار متفاوت است. در این نمونه‌ها، از شکست و جدایی آجها اثری مشاهده نمی‌شود. رفتار این نمونه‌ها مشابه رفتار نمونه‌های RS است (شکل ۱۴). بررسیهای پس از آزمون نیز نشان می‌دهد که هیچ جدایش آجی اتفاق نیفتاده است و میلگرد چسبندگی مناسبی به بتن دارد.

همچنین، در مقایسه حداکثر نیروی بیرون‌کشی این نمونه‌ها (RTS ۱۸) با نمونه‌های RS ۱۸ می‌توان گفت که بیشتر بودن مقادیر برای میلگردهای RS ۱۸، متاثر از تفاوت ساز و کار جدایی میلگرد است که در نمونه‌های RS کنده شدن آج مستلزم صرف نیروی بیشتری بوده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش، میلگردهای کامپوزیتی با سه هندسه سطح متفاوت تهیه شدند. برای ارزیابی چسبندگی میلگردها به بتن میلگردها با طولهای جا گذاری مختلف در پایه‌های بتنی استوانه‌ای قرار گرفتند. با بررسی نتایج مشخص شد که اتصال هر نوع آج روی مغزی میلگرد، اثر زیادی در ازدیاد چسبندگی میلگرد به بتن دارد. میلگردهای با آج دورپیچ، به علت جدایی آج چسبندگی مناسبی به بتن نشان نداده و در واقع چسبندگی این نوع میلگردها به بتن به وسیله چسبندگی آج دورپیچ به مغزی کنترل می‌شود. در طول جاگذاری cm ۱۲ میلگردها با آج دورپیچ و شن‌پاشی چسبندگی بهتری به بتن دارند. در طول جاگذاری cm ۱۸ کارایی میلگردهای با آج دوگانه و آج دورپیچ به هم نزدیک بوده، نیروی چسبندگی میلگرد آج دورپیچ کمی بیشتر از میلگرد با آج دوگانه است.

در تمام موارد، آجهای شن‌پاشی ساده و دورپیچِ ساده به هنگام آزمون بیرون کشی، از مغزی میلگرد جدا می‌شوند. در مجموع از رفتار جدایی آج و نیز حداکثر نیروی بیرون‌کشی می‌توان نتیجه گرفت کارایی میلگردها با آج دوگانه در چسبندگی به بتن بهتر از سایر میلگردها بوده است.

مراجع

1. Esfandeh M., Rezadoust A.M., Sabet S.A. and Alavi S.M., Applications of FRP Bar in Concrete Columns for Improving Structural and Corrosion Properties, Project Report, Iran Polymer & Petrochemical Institute, 2006.
2. Balendran R.V., Rana T.M., Maqsood T. and Tang W.C., Application of FRP Bars as Reinforcement in Civil Engineering Structures, *Structural Survey*, **20**, 62-72, 2002.
3. Benmokrane B., Chaallal O. and Masmoudi R., Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) Rebars for Concrete Structures, *Construct. Build. Mater*., **9**, 353-364, 1995.
4. Xiao Y., Applications of FRP Composites in Concrete Columns, *Adv. Struct. Eng*., **7**, 335-343, 2004.
5. De Lorenzis L., Rizzo A. and La Tegola A., A Modified Pull-out Test for Bond of Near-surface Mounted FRP Rods in Concrete, *Composites: Part B*, **33**, 589-603, 2002.
6. Larralde J. and Silva-Rodriguez R., Bond and Slip of FRP Rebars in Concrete, *J. Mater. Civil Eng*., **5**, 30-40, 1993.
7. Katz A., Bond Mechanism of FRP Rebars to Concrete, *Mater. Struct*., **32**, 761-768, 1999.
8. Ehsani M.R., Saadatmanesh H. and Tao S., Bond Behavior of Deformed GFRP Rebars, *J. Compos. Mater*., **31**, 1413-1430, 1997.
9. Whittaker A., CIE 525 Reinforced Concrete Structures Course Text, Department of Civil, Structural and Environmental Engineering, The University at Buffalo, Fall 2004.
10. Okelo R. and Yuan R., Bond Splitting Behavior of FRP Rebars in Normal Strength Concrete, 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Austin, Texas, Apr. 18-21, 2005.

Archive of SID
www.SID.ir